



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 196 52 529 A 1

⑯ Int. Cl. 6:

H 01 L 29/15

H 01 S 3/19

H 01 S 3/103

⑯ Aktenzeichen: 196 52 529.2  
⑯ Anmeldetag: 17. 12. 96  
⑯ Offenlegungstag: 18. 6. 98

⑯ Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

⑯ Erfinder:

Stegmüller, Bernhard, Dr., 86163 Augsburg, DE

⑯ Entgegenhaltungen:

US 55 68 311  
US 53 83 216

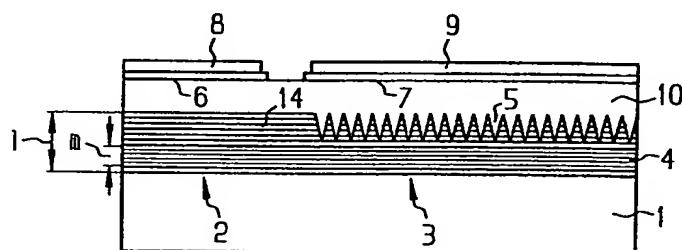
K. Sato et. al.: "Strained-InGaAsP MQW  
Electroabsorption Modulator integrated DFB Laser"  
in: ELECTRONICS LETTERS 29 (1993) 12,  
1087-1089;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Optoelektronisches Bauelement mit MQW-Strukturen

⑯ Bauelement mit zwei MQW-Strukturen unterschiedlicher Funktion, bei dem die Schichtfolgen (4, 14), die diese MQW-Strukturen bilden, in einem einfachen Epitaxieprozeß aus in jeder Schichtebene homogenen Schichten aufgewachsen sind. Bei einer Ausgestaltung als Laserdiode-Modulator-Kombination ist die MQW-Schichtfolge (4) des Lasers vorzugsweise innerhalb der MQW-Schichtfolge (14) des Modulators angeordnet.



## Beschreibung

In Bauelementen, in denen zwei oder mehrere optoelektronische Komponenten monolithisch integriert sind, wie z. B. bei einer Laser-Modulator-Kombination, sind oftmals unterschiedliche MQW-Strukturen mit unterschiedlichen Eigenschaften erforderlich. Derartige MQW-Strukturen (Multiple Quantum Well), nachfolgend auch als mehrfache Potentialtopfstrukturen bezeichnet, sind durch eine alternierende Schichtfolge gegeben, in der jeweils eine als Potentialtopf (Well) fungierende Schicht zwischen zwei Barrierschichten angeordnet ist. Üblicherweise sind die Potentialtopfschichten und die Barrierschichten untereinander jeweils gleichartig ausgebildet, d. h. die Schichten besitzen jeweils dieselbe Materialzusammensetzung und Dicke. Bei der Integration mehrerer optoelektronischer Komponenten unterschiedlicher Funktion auf demselben Chip ist es oftmals erforderlich, mehrere wesentlich voneinander verschiedene MQW-Strukturen monolithisch zu integrieren.

Eine Möglichkeit der gemeinsamen Integration z. B. eines Modulators mit einer Laserdiode ist in der Veröffentlichung von K. Morito e.a.: "A Low-Wavelength-Chirp, Low-Drive-Voltage MQW Modulator Integrated DFB Laser for 10 Gb/s Transmission" in Optoelectronics 10, 89 bis 96 (1995) beschrieben. Die dort angegebene sogenannte Butt-joint-Struktur wird hergestellt, indem die MQW-Schicht folgen für den Laser und den Modulator getrennt in mehrfachen Epitaxieprozessen aufgewachsen werden. In dieser Veröffentlichung ist auch ein Vergleich mit einer mit Hilfe von selektiver Epitaxie hergestellten Schichtstruktur gegeben, wie sie z. B. bei der Herstellung der Laser-Modulator-Kombination verwendet wird, die in der Veröffentlichung von H. Yamazaki e.a.: "Low Drive Voltage (1.5 V<sub>p,p</sub>) and High Power DFB-LD/Modulator Integrated Light Sources by Bandgap Energy Controlled Selective MOVPE" in Proc. of the 21st Eur. Conf. on Opt. Comm. (ECOC'95, Brussels), Seite 897 bis 900 (1995) beschrieben ist. Diese mehrfachen Epitaxieprozesse oder selektiven Epitaxieprozesse sind zeitaufwendig und stellen mögliche Fehlerquellen dar. In der Veröffentlichung von A. Ramdane e.a.: "Integrated MQW Laser-Modulator with 36 Ghz Bandwidth and Negative Chirp" in Proc. of the 21st Eur. Conf. on Opt. Comm., Seiten 893 bis 896 (1995) wurde eine Laser-Modulator-Kombination mit nur einer gemeinsamen MQW-Struktur vorgeschlagen. Deren Herstellung kann daher in einem Epitaxieprozeß erfolgen. Die MQW-Struktur kann aber nicht für beide integrierte Komponenten gleichzeitig optimiert werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine monolithische Integration mehrerer optoelektronischer Komponenten mit unterschiedlichen MQW-Strukturen anzugeben, die möglichst einfach herstellbar ist.

Diese Aufgabe wird mit dem Bauelement mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

In dem erfindungsgemäßen Bauelement sind voneinander unterscheidbare MQW-Strukturen so integriert, daß sie in einem Epitaxieprozeß hergestellt werden können und daß sie gleichzeitig eine Optimierung für zwei oder mehrere integrierte Komponenten ermöglichen. Die MQW-Strukturen sind als Schichtfolgen in einer gemeinsamen, und daher in einem einzigen Epitaxieprozeß herstellbaren, Folge von Schichten angeordnet. Die MQW-Schicht folgen, die jeweils für eine der Komponenten optimiert sind, sind vorzugsweise vertikal zur Ebene der Schichten gegeneinander versetzt angeordnet. Eine dieser Schicht folgen kann aber integraler Bestandteil der für die andere Komponente vorgesehenen MQW-Schichtfolge sein. Im Fall einer Laserdiode-Modulator-Kombination wird vorzugsweise die für die ak-

tive Schicht der Laserdiode vorgesehene MQW-Struktur auch im Bereich des Modulators vorgesehen. Die speziell für den Modulator vorgesehene Schichtfolge ist vorzugsweise teilweise über und teilweise unter dieser MQW-Struktur der Laserdiode angeordnet. Die speziell für die MQW-Struktur des Modulators vorgesehenen Schichten können z. B. nur im Bereich des Modulators aufgewachsen oder im Bereich der Laserdiode nachträglich durch Ätzen entfernt sein. Die für die getrennten Funktionen der integrierten Komponenten vorgesehenen verschiedenen MQW-Schichtfolgen können dadurch voneinander unterschieden werden, daß die darin enthaltenen Schichten eine andere Materialzusammensetzung aufweisen und/oder die Dicke und Anzahl der Schichten unterschiedlich ist.

Es folgt eine genauere Beschreibung des erfindungsgemäßen Bauelementes anhand der Fig. 1 bis 5. Die Figuren zeigen jeweils eine Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Laser-Modulator-Kombination im Längsschnitt.

In Fig. 1 ist eine Kombination eines Modulators 2 mit einer Laserdiode 3 auf demselben Substrat 1 dargestellt. Eine mehrfache Potentialtopfstruktur (Multiple Quantum Well, MQW) 4 ist im Bereich des Modulators und der Laserdiode vorhanden. Diese MQW-Struktur, die für die aktive Schicht der Laserdiode vorgesehen ist, hat eine Dicke m, die geringer ist als die gesamte Dicke l aller für MQW-Strukturen aufgewachsenen Schichten. Die für den Modulator vorgesehene Schichtfolge 14 bildet die für den Modulator 2 optimierte MQW-Struktur. Im Bereich der Laserdiode 3 ist in dieser Schichtfolge oberhalb der für den Laser vorgesehenen Schichtfolge 4 ein Gitter 5 durch Ätzen hergestellt. Dieses Gitter ist hier als DFB-Gitter (Distributed Feedback) auf der gesamten Länge des Lasers vorhanden. Das Gitter braucht nicht auf der gesamten Länge des Lasers vorhanden zu sein, sondern kann auf einen oder mehrere Teilstabschnitte des Lasers begrenzt sein. Ebenso kann ein DBR-Gitter als Ersatz für die hier fehlenden Spiegelflächen vorgesehen sein. Kontaktsschichten 6, 7 aus hochdotiertem Halbleitermaterial mit dafür aufgebrachten Kontakten 8, 9 aus Metall dienen einer getrennten Strominjektion in den Bereich des Modulators und des Lasers. Ein gemeinsamer Gegenkontakt kann z. B. auf der Oberseite vor oder hinter der Zeichenebene oder auf der Unterseite des dann elektrisch leitend dotierten Substrates 1 aufgebracht sein. Die Dicke m der MQW-Schichtfolge 4 ist geringer als die Dicke l der gesamten aufgewachsenen Folge von Schichten, die für MQW-Strukturen vorgesehen sind. Die für den Modulator optimierte Schichtfolge 14 ist hier dicker eingezeichnet als die für die Laserdiode optimierte Schichtfolge 4. Die Dicken der Schichten können aber bei beiden Komponenten gleich sein, und der Unterschied zwischen den MQW-Strukturen kann durch die unterschiedliche Materialzusammensetzung gegeben sein.

Fig. 2 und Fig. 3 zeigen im Prinzip den gleichen Aufbau wie die Laser-Modulator-Kombination der Fig. 1. Im Gegensatz zu dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 ist aber die für die Laserdiode vorgesehene Schichtfolge 4 bei der Anordnung der Fig. 2 etwa in der Mitte der für den Modulator vorgesehenen Schichtfolge 14 angeordnet und bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 3 im oberen Bereich, d. h. sich überschneidend mit dem DFB-Gitter 5. Auch bei den Ausführungen entsprechend Fig. 2 und 3 braucht das Gitter nicht auf der gesamten Länge des Lasers vorhanden zu sein.

Bei der Ausführungsform der Fig. 4 ist die gesamte Folge von Schichten gleichmäßig im Bereich des Modulators und der Laserdiode vorhanden. Bei einer Anordnung der für den Laser vorgesehenen Schichtfolge 4 wie bei der Ausführung gemäß Fig. 4 kann z. B. der obere Anteil der Schichtfolge 14 für den Modulator im Bereich der Laserdiode entfernt

sein, wie das in Fig. 5 dargestellt ist. Es ergibt sich dann eine steile Grenzfläche 11 am Ende der für den Modulator vorgesehenen Schichtfolge 14 zur Laserdiode hin.

Bei allen dargestellten Ausführungsbeispielen ist auf die Oberseite der Folge von MQW-Schichten eine Deckschicht oder Mantelschicht 10 aufgebracht, mit der insbesondere auch das Gitter aufgefüllt wird. Es können über und unter den MQW-Schichten weitere Mantelschichten vorgesehen sein, die insbesondere für optisches und elektrisches Confinement benötigt werden können. Eine Alternative zu der Ausführungsform der Fig. 5 ist dadurch gegeben, daß z. B. im Bereich des Modulators ein Anteil des Substrates 1 oder einer darauf aufgebrachten unteren Mantelschicht entfernt wird. Die Epitaxie der MQW-Schichten erfolgt dann zunächst nur innerhalb des ausgeätzten Bereiches. Der restliche Anteil der Halbleiteroberfläche wird vorzugsweise mit einer Maske abgedeckt. Nachdem so viele Schichten aufgewachsen sind, daß sich eine ebene Oberfläche ergibt, werden die nachfolgenden Schichten im Bereich beider Komponenten gleich aufgewachsen. Auf diese Weise ergibt sich eine Grenzfläche 11 wie in Fig. 5 nicht über, sondern unter der für die Laserdiode vorgesehenen Schichtfolge 4.

Bei dem erfindungsgemäßen Bauelement wird vorzugsweise die Folge von Schichten, die für die MQW-Strukturen vorgesehen sind, ohne Unterbrechung in einem Epitaxieprozeß aufgewachsen, und zwar so, daß keine Schichten, die nicht zu den MQW-Strukturen gehören, in die Folge von Schichten eingefügt werden. In der für die MQW-Strukturen vorgesehenen Schichtfolge folgen daher unmittelbar aufeinander nur Schichten, die entweder für die MQW-Struktur der einen Komponente oder für die MQW-Struktur der anderen Komponente vorgesehen sind oder die Teil beider MQW-Strukturen bilden. Die gesamte Folge von Schichten kann vor dem Aufbringen der oberen Mantelschicht 10 lateral streifenförmig geätzt werden. Die obere Mantelschicht 10 bedeckt daher auch die seitlichen Ränder dieses Streifens, die vor bzw. hinter der Zeichenebene zu denken sind.

Auch bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4, bei dem alle Schichten beiden Komponenten gemeinsam sind, ist eine Optimierung der jeweiligen MQW-Strukturen auf die Belange der jeweiligen Komponente möglich. Vorzugsweise ist die eine Schichtfolge, die die MQW-Struktur des einen Bauelementes bildet, innerhalb der für die MQW-Struktur des anderen Bauelementes vorgesehenen Schichtfolge 14 angeordnet. Die beiden MQW-Strukturen können aber auch voneinander getrennt vertikal bezüglich der Schichtebenen gegeneinander versetzt angeordnet sein. Auch in diesem Fall wird man die beiden Schichtfolgen, die die MQW-Strukturen der Komponenten bilden, unmittelbar aneinander anschließend aufwachsen. Die in den Figuren dargestellte Ausführung, bei der die Schichtfolge 4 der Laserdiode in die umfassende Schichtfolge 14 für den Modulator eingefügt ist, hat den Vorteil, daß die für die MQW-Struktur des Modulators vorgesehenen Schichten im Bereich der Laserdiode zur Wellenführung genutzt werden können. Das erfindungsgemäße Bauelement kann in jedem Materialsystem hergestellt werden, das für die einzelnen Komponenten verwendbar ist, z. B. InGaAsP oder InGaAlAs. Die Struktur der Bauelemente in lateraler Richtung, d. h. in den Schichtebenen kann entsprechend einer herkömmlichen einzelnen Komponente hergestellt werden. Statt des anhand der Beispiele beschriebenen Bauelementes mit einer integrierten Laserdiode und einem zugehörigen Modulator können zwei oder mehrere Komponenten mit getrennten MQW-Strukturen und praktisch beliebigen Funktionen miteinander integriert werden. Es ist z. B. möglich, eine Laserdiode mit zwei verschiedenen Modulatoren oder zwei voneinander verschiedene Laserdioden oder Photodi-

oden miteinander zu kombinieren. Ein besonderer Vorteil dieses Bauelementes ist die einfache Herstellbarkeit in einem einfachen Epitaxieprozeß. In jeder Schichtebene ist daher nur eine einzige Schicht homogener Zusammensetzung vorhanden.

#### Patentansprüche

1. Optoelektronisches Bauelement in Halbleitermaterial mit mindestens zwei Komponenten (2, 3), die jeweils eine Schichtfolge (4, 14) mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur (multiple quantum well) aufweisen,
  - bei dem diese Schichtfolgen (4, 14) auf Grund der Zusammensetzungen der Materialien oder der Dicken und Anzahl der darin vorhandenen Schichten voneinander unterscheidbare mehrfache Potentialtopfstrukturen bilden,
  - bei dem diese Schichtfolgen Teile einer Folge von übereinander angeordneten homogenen Schichten sind und
  - bei dem in jeder Ebene einer Schicht nur eine einzige dieser Schichten vorhanden ist.
2. Bauelement nach Anspruch 1, bei dem zwischen je zwei Schichten, die einer der Schichtfolgen mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur oder diesen beiden Schichtfolgen zugehören, nur Schichten vorhanden sind, die mindestens einer dieser Schichtfolgen zugehören.
3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem eine der Schichtfolgen mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur zwischen Schichten der anderen Schichtfolge angeordnet ist.
4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Komponenten eine Laserdiode (3) und ein Modulator (2) sind.
5. Bauelement nach Anspruch 4, bei dem die Schichtfolge (4) mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur, die für die Laserdiode vorgesehen ist, innerhalb der Schichtfolge (14), die für den Modulator vorgesehen ist, angeordnet ist.
6. Bauelement nach Anspruch 4 oder 5, bei dem die Schichtfolge (14) mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur, die für den Modulator vorgesehen ist, Schichten umfaßt, die nur im Bereich des Modulators vorhanden sind.
7. Bauelement nach Anspruch 4 oder 5, bei dem die Schichtfolgen (4, 14) mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur nur Schichten umfassen, die sowohl im Bereich der Laserdiode als auch im Bereich des Modulators vorhanden sind.
8. Bauelement nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei dem im Bereich der Laserdiode in mindestens einer Schichtfolge mit einer mehrfachen Potentialtopfstruktur ein DFB-Gitter oder ein DBR-Gitter ausgebildet ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

FIG 1

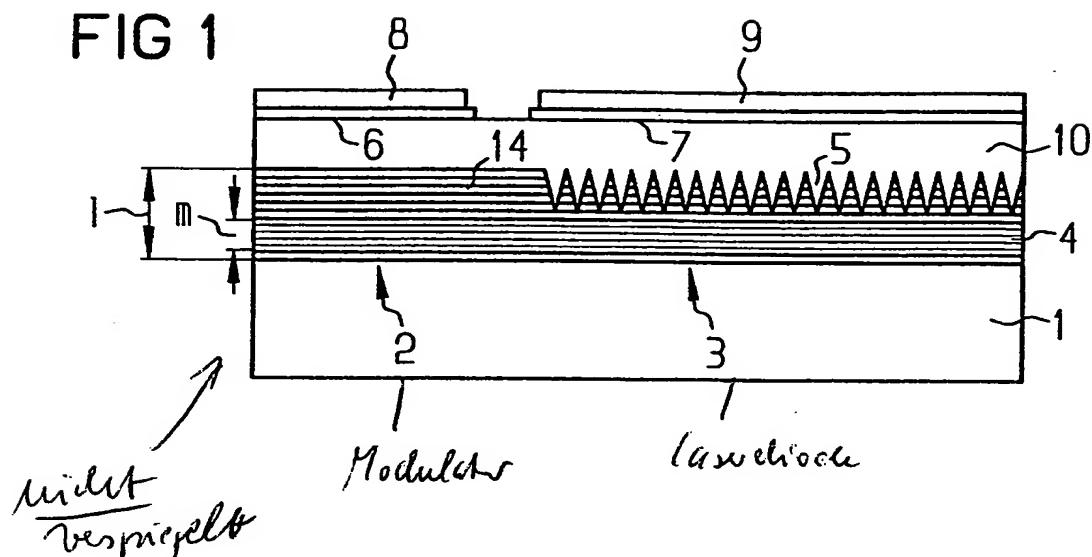


FIG 2

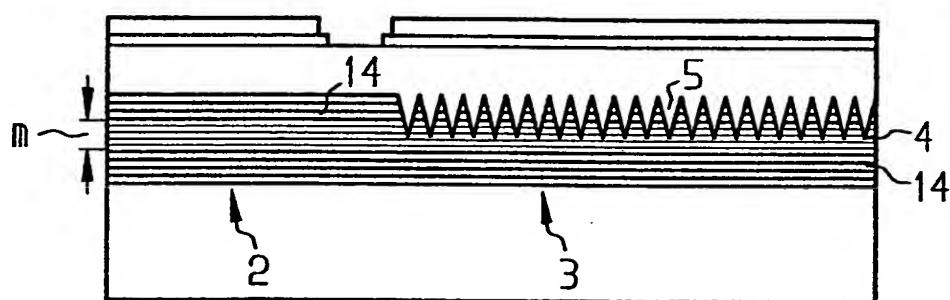


FIG 3

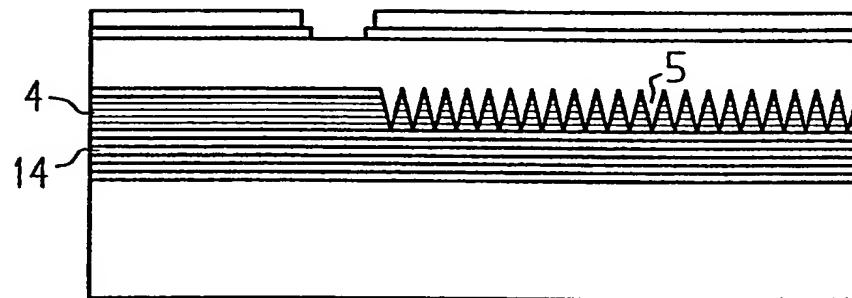


FIG 4

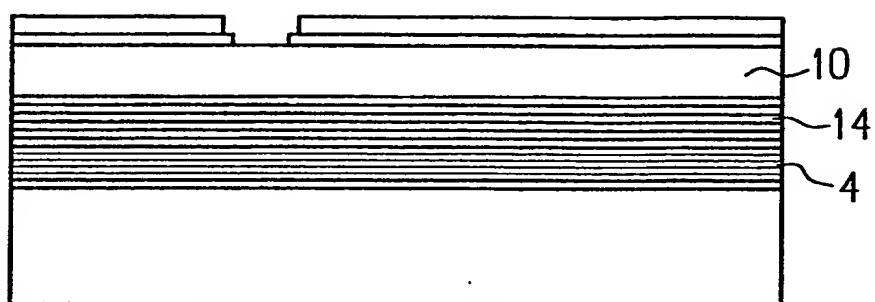


FIG 5

